

# 角膜曲率对正常眼轴白内障患者屈光度计算准确性的影响

朱珂珂<sup>1</sup>, 王欣<sup>2</sup>, 穆红梅<sup>1</sup>

引用:朱珂珂,王欣,穆红梅. 角膜曲率对正常眼轴白内障患者屈光度计算准确性的影响. 国际眼科杂志 2022;22(4):633-636

作者单位:<sup>1</sup>(475000)中国河南省开封市中心医院眼科;  
<sup>2</sup>(475000)中国河南省开封市,开封大学医学部

作者简介:朱珂珂,硕士,副主任医师,研究方向:白内障。

通讯作者:朱珂珂. zhukeke2005@163.com

收稿日期:2021-09-08 修回日期:2022-03-09

## 摘要

**目的:**研究角膜曲率对正常眼轴白内障患者人工晶状体(IOL)屈光度计算准确性的影响。

**方法:**选取2020-06/2021-06在我院行白内障手术的患者157例157眼,根据术前角膜曲率(K)分为3组,A组(53眼) $K < 42D$ ,B组(55眼) $42D \leq K \leq 46D$ ,C组(49眼) $K > 46D$ 。术前分别采用SRK/T、Hoffer Q、Holladay 2、Haigis、Kane、Barrett II公式计算IOL屈光度,术后1mo行主观验光检查,计算并分析三组患者屈光预测误差(RPE)和平均绝对值误差(MAE)的差异。

**结果:**A、C组每个公式的RPE与0D比较均有差异( $P < 0.05$ ),且Barrett II公式与SRK/T、Hoffer Q、Holladay 2、Haigis公式比较均有差异( $P < 0.01$ ),与Kane公式比较无差异( $P > 0.01$ );B组所有公式的RPE与0D比较均无差异( $P > 0.05$ )。A组Barrett II公式MAE $\leq 0.5D$ 的比率显著高于SRK/T、Hoffer Q、Holladay 2、Haigis公式(均 $P < 0.01$ ),但与Kane公式比较无差异( $P > 0.01$ );B组Barrett II公式的MAE $\leq 0.5D$ 和 $\leq 1.0D$ 的比率与其他公式比较无差异(均 $P > 0.01$ );C组Barrett II公式MAE $\leq 0.5D$ 的比率高于SRK/T和Hoff Q公式(均 $P < 0.01$ ),但在MAE $\leq 1.0D$ 的比率与其他公式均无差异( $P > 0.01$ )。

**结论:**当术前 $K < 42D$ 或 $K > 46D$ ,常用IOL屈光度计算公式均会产生屈光误差,但Kane和Barrett II公式的准确性依然高于其他公式。

**关键词:**角膜曲率;屈光误差;人工晶状体;白内障;人工晶状体计算公式

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2022.4.21

## Analyze the effect of keratometry on the calculation accuracy of intraocular lens diopter in patients with normal axial cataract

Ke-Ke Zhu<sup>1</sup>, Xin Wang<sup>2</sup>, Hong-Mei Mu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Ophthalmology, Kaifeng Central Hospital, Kaifeng

475000, Henan Province, China; <sup>2</sup>Medical Department of Kaifeng University, Kaifeng 475000, Henan Province, China

**Correspondence to:** Ke-Ke Zhu. Department of Ophthalmology, Kaifeng Central Hospital, Kaifeng 475000, Henan Province, China. zhukeke2005@163.com

Received: 2021-09-08 Accepted: 2022-03-09

## Abstract

• **AIM:** To evaluate the effect of keratometry on the calculation accuracy of intraocular lens (IOL) diopter in patients with normal axial cataract.

• **METHODS:** Totally 157 cases (157 eyes) with age related cataract were collected in Kaifeng Central Hospital from June 2020 to June 2021. Patients were divided into 3 groups according to keratometry: group A (53 eyes) ( $K < 42D$ ), group B (55 eyes) ( $42D \leq K \leq 46D$ ), group C (49 eyes) ( $K > 46D$ ). The IOL diopter was calculated by SRK/T, Hoffer Q, Holladay 2, Haigis, Kane and Barrett II formulas respectively. Subjective optometry was performed after 1mo operation. The average refractive prediction error (RPE) and mean absolute error (MAE) were calculated, and their differences were compared and analyzed.

• **RESULTS:** There were significant difference between RPE of each formula and 0D in groups A and C ( $P < 0.05$ ), and Barrett II formula was significantly different with SRK/T, Hoffer Q, Holladay 2 and Haigis formula ( $P < 0.01$ ), but was no significantly different with Kane formula in RPE ( $P > 0.01$ ). There was no significant difference in RPE between group B and 0D ( $P > 0.05$ ). The ratio of Barrett II formula in MAE  $\leq 0.5D$  in group A was significantly higher than SRK/T, Hoffer Q, Holladay 2 and Haigis formula (all  $P < 0.01$ ), but there was no significant difference compared with Kane formula ( $P > 0.01$ ). In group B, there was no significant difference among Barrett II formula and the other formulas in the ratio of MAE  $\leq 0.5D$  and  $\leq 1.0D$  (all  $P > 0.01$ ). In group C, the ratio of SRK/T and Hoff Q formula in MAE  $\leq 0.5D$  was lower than Barrett II formula (all  $P < 0.01$ ), and there were no significant difference among Barrett II formula and the other formulas in the ratio of MAE  $\leq 1.0D$  ( $P > 0.01$ ).

• **CONCLUSION:** If  $K < 42D$  or  $K > 46D$  before operation, the commonly used formulas will produce refractive error, but the accuracy of Kane and Barrett II formulas are still higher than other formulas.

• **KEYWORDS:** keratometry; refractive error; intraocular lens; cataract; intraocular lens power calculation formula

**Citation:** Zhu KK, Wang X, Mu HM. Analyze the effect of keratometry on the calculation accuracy of intraocular lens diopter in patients with normal axial cataract. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2022;22(4):633-636

## 0 引言

白内障手术已经进入屈光手术时代,各种高端人工晶状体(intraocular lens, IOL)的出现使白内障患者术前屈光度计算要求越来越高,第五代 IOL 屈光度计算公式如 Barrett II、Olsen、Hill-RBF、Kane 等使多数患者术前 IOL 屈光度的计算更加准确。对于一些特殊患者如高度近视、远视、浅前房的患者,研究已经发现与其相适应的精准计算公式<sup>[1-3]</sup>。而不同公式关于角膜曲率(keratometry, K)对 IOL 屈光度计算的影响,国内相关报道较少。本研究针对不同 K 值的白内障患者进行了对比研究,现将结果报道如下。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 前瞻性临床研究。选取 2020-06/2021-06 在我院行白内障超声乳化联合 IOL 植入术的患者 157 例 157 眼,其中男 77 例,女 80 例,平均年龄 66.32±5.58 岁。纳入标准:(1)术前眼轴(axial length, AL)22~26mm;(2)术中均植入 Rayner 970C 或 920H 非球面 IOL;(3)术后最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA)≥0.8。排除标准:(1)既往有屈光手术史;(2)既往或现在患有眼部疾病,影响术前眼部生物测量;(3)眼部生物测量数据不全。本研究获得开封市中心医院伦理委员会批准。研究目的已明确告知纳入患者,并签署知情同意书。

## 1.2 方法

**1.2.1 手术方法** 纳入患者术前均通过 IOL Master 700 测量 AL、前房深度(anterior chamber depth, ACD)和 K 值,分别应用 SRK/T、Hoffer Q、Holladay 2、Haigis、Barrett II (www.apacrs.org)、Kane (www.iolformula.com)公式计算 IOL 屈光度,并且设置目标屈光度为 0D。手术方法:采用常规 2.8mm 透明角膜切口,前房内注入黏弹剂连续环形撕囊,水分离晶状体核,行白内障超声乳化,注吸残余皮质,将 IOL 植入囊袋内,水密角膜切口完成手术,所有手术均由同一医生完成。

**1.2.2 观察指标** 术后 1mo 行主觉验光检查,将验光结果转换成等效球镜计算屈光预测误差(refractive prediction errors, RPE)和平均绝对值误差(mean absolute error, MAE),其中 RPE=植入的 IOL 度数+验光等效球镜/0.7-术前计算屈光误差为 0 的 IOL 度数,MAE 为 RPE 的绝对值平均数。

统计学分析:采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。计量资料采用 K-S 检验符合正态分布,以  $\bar{x} \pm s$  表示,三组间年龄、术前 AL、ACD、K 值的比较采用单因素方差分析;采用单样本 *t* 检验比较每个 IOL 公式的 RPE 和 OD 的差异;三组间各公式的 RPE 和 MAE 比较采用 Friedman 检验;Barrett II 公式与其他公式的 RPE 比较采用 Wilcoxon 符号秩检验联合 Bonferroni 校正。计数资料采用 *n*(%)表示,术前性别构成比、术后 MAE 分别在 0.5、1.0D 范围内的比较采用  $\chi^2$  检验。以  $P < 0.05$  为差异具有统计学意义,多重比较以  $P < 0.01$  为差异具有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 纳入患者的基本资料** 根据术前角膜 K 值将所有患者分为 3 组,其中 A 组 53 例 53 眼,  $K < 42D$ ; B 组 55 例 55 眼,  $42D \leq K \leq 46D$ ; C 组 49 例 49 眼,  $K > 46D$ 。三组患者的性别构成、年龄、术前 AL、ACD 差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),见表 1。

**2.2 术后 1mo 三组患者 RPE 和 MAE 比较** A 组和 C 组每个公式的 RPE 与 OD 比较差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),B 组所有公式的 RPE 与 OD 比较差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。三组间各公式的 RPE 比较差异有统计学意义( $\chi^2 = 12.088, P = 0.002$ ),MAE 比较差异也有统计学意义( $\chi^2 = 7.814, P = 0.005$ )。A 组和 C 组各公式的 RPE 比较显示,Barrett II 公式与 SRK/T、Hoffer Q、Holladay 2、Haigis 公式差异均有统计学意义( $P < 0.01$ ),但与 Kane 公式比较差异无统计学意义( $P > 0.01$ );B 组各公式的 RPE 比较显示,Barrett II 公式与其他公式差异均无统计学意义( $P > 0.01$ ),见表 2。

**2.3 术后 1mo 三组患者屈光误差范围比较** 根据术后 1mo MAE 分别将 A、B、C 组患者分为  $MAE \leq 0.5D$  ( $RPE \pm 0.5D$ )组和  $MAE \leq 1.0D$  ( $RPE \pm 1.0D$ )组。A 组 Barrett II 公式的  $MAE \leq 0.5D$  的比率显著高于 SRK/T、Hoffer Q、Holladay 2、Haigis 公式,差异均有统计学意义( $\chi^2 = 8.515、8.843、8.228、9.144$ ,均  $P < 0.01$ ),但与 Kane 公式比较差异无统计学意义( $\chi^2 = 8.165, P = 0.017$ ),Barrett II 公式的  $MAE \leq 1.0D$  的比率与其他公式比较差异均无统计学意义( $P > 0.01$ );B 组 Barrett II 公式的  $MAE \leq 0.5D$  和  $\leq 1.0D$  的比率与其他公式比较差异均无统计学意义( $P > 0.01$ );C 组 Barrett II 公式的  $MAE \leq 0.5D$  的比率高于 SRK/T 和 Hoff Q 公式,差异有统计学意义( $\chi^2 = 6.680、5.009, P = 0.005、0.002$ ),但在  $MAE \leq 1.0D$  的比率与其他公式比较差异均无统计学意义( $P > 0.01$ ),见表 3。

## 3 讨论

角膜曲率和 AL 一直都是计算白内障患者 IOL 屈光度的重要参数。近年研究发现 ACD、眼球白到白距离、晶状体厚度、瞳孔大小甚至年龄均会影响屈光度的计算准确性<sup>[4-6]</sup>。Norrby<sup>[7]</sup>认为术后 ACD 占屈光误差因素的 35.47%,AL 占 17.03%,角膜前表面曲率占 2.32%,角膜前后表面曲率半径比值占 3.69%。角膜曲率因素合计约占 6%,这其中包括测量误差和异常 K 值导致的计算误差。AL 和 ACD 对屈光结果的影响已有较多研究证实,本研究选择 AL 在正常范围(22~26mm)内的患者,且 ACD 平均值为 3.19mm,采用目前最新型 IOL Master 700 进行术前生物测量,充分排除其他干扰因素,以提高研究结果的可靠性。

本研究中 A、C 组每个公式的 RPE 与 OD 比较均有显著差异( $P < 0.05$ ),B 组所有公式的 RPE 与 OD 比较均无显著差异( $P > 0.05$ ),提示 K 值在正常范围(42~46D)内常用 IOL 屈光度计算公式误差接近于 OD,而过大或过小的 K 值则容易造成屈光误差。组内比较显示 A、C 组 Barrett II 公式的 RPE 与 SRK/T、Hoffer Q、Holladay 2、Haigis 公式比较差异均有统计学意义( $P < 0.01$ ),但 Kane 和 Barrett II 公式的 RPE 比较差异无统计学意义( $P > 0.01$ ),提示对于异

表 1 三组患者基本资料的比较

组别	眼数	男/女(例)	年龄( $\bar{x}\pm s$ ,岁)	AL( $\bar{x}\pm s$ ,mm)	K( $\bar{x}\pm s$ ,D)	ACD( $\bar{x}\pm s$ ,mm)
A组	53	28/25	65.88±5.63	24.30±1.21	41.30±0.60	3.20±0.18
B组	55	26/29	68.71±4.25	24.55±1.33	44.28±0.88	3.15±0.17
C组	49	23/26	64.21±6.77	24.51±1.26	48.85±1.92	3.24±0.14
$\chi^2/F$		0.960	2.684	0.371	6.376	0.957
<i>P</i>		0.327	0.071	0.690	0.011	0.386

注:A组:K<42D;B组:42D≤K≤46D;C组:K>46D。

表 2 术后 1mo 三组患者 RPE 和 MAE 情况

IOL 公式	A 组(n=53)		B 组(n=55)		C 组(n=49)	
	RPE	MAE	RPE	MAE	RPE	MAE
SRK/T	-0.19±0.31 <sup>a,c</sup>	0.27±0.18	0.05±0.35	0.32±0.20	0.33±0.51 <sup>a,c</sup>	0.42±0.37
Hoffer Q	0.22±0.38 <sup>a,c</sup>	0.28±0.30	0.03±0.37	0.29±0.20	-0.18±0.56 <sup>a,c</sup>	0.36±0.35
Holladay 2	-0.15±0.35 <sup>a,c</sup>	0.26±0.23	-0.03±0.39	0.31±0.24	0.14±0.51 <sup>a,c</sup>	0.38±0.23
Haigis	0.30±0.26 <sup>a,c</sup>	0.25±0.27	0.02±0.38	0.30±0.23	0.17±0.52 <sup>a,c</sup>	0.34±0.30
Kane	-0.14±0.23 <sup>a</sup>	0.19±0.15	0.01±0.35	0.28±0.20	0.12±0.36 <sup>a</sup>	0.24±0.25
Barrett II	-0.12±0.26 <sup>a</sup>	0.18±0.16	0.02±0.36	0.29±0.21	0.11±0.45 <sup>a</sup>	0.26±0.23

注:A组:K<42D;B组:42D≤K≤46D;C组:K>46D。<sup>a</sup>*P*<0.05 vs 0D;<sup>c</sup>*P*<0.01 vs Barrett II。

表 3 术后 1mo 三组患者屈光误差范围

IOL 公式	A 组(n=53)		B 组(n=55)		C 组(n=49)	
	MAE≤0.5D	MAE≤1.0D	MAE≤0.5D	MAE≤1.0D	MAE≤0.5D	MAE≤1.0D
SRK/T	45(84.9) <sup>a</sup>	48(90.6)	45(81.8)	51(92.7)	32(65.3) <sup>a</sup>	44(89.8)
Hoff Q	44(83.0) <sup>a</sup>	49(92.4)	46(83.6)	51(92.7)	33(67.3) <sup>a</sup>	43(87.8)
Holladay2	46(86.8) <sup>a</sup>	51(96.2)	47(85.4)	52(94.5)	36(73.5)	46(93.9)
Haigis	42(79.2) <sup>a</sup>	50(94.3)	46(83.6)	54(98.2)	35(71.4)	45(91.8)
Kane	49(92.4)	52(98.1)	47(85.4)	53(96.4)	38(77.6)	46(93.9)
Barrett II	50(94.3)	51(96.2)	47(85.4)	54(98.2)	37(75.5)	46(93.9)

注:A组:K<42D;B组:42D≤K≤46D;C组:K>46D。<sup>a</sup>*P*<0.05 vs Barrett II。

常 K 值的白内障患者,五代 IOL 屈光度计算公式的准确性优于其他公式。Barrett II 公式是基于光线追踪技术、厚晶状体模型的第五代理论公式,而同属五代公式的 Kane 公式是以理论光学为基础,并结合了回归和人工智能成分,这个公式着重于减少在各种眼维度极端情况下发生的误差,如超长眼轴或浅前房等,而这正是目前其他公式显示较大误差的原因。Melles 等<sup>[8]</sup>对 18 000 余例白内障患者进行分析,其中 42D≤K≤46D 的患者占 81%,异常 K 值各占约 10%,结果显示 Barrett II 公式的屈光误差最低,包括不同 K 值的情况,其 MAE≤0.5D 和 ≤1.0D 的比率分别为 80.8%、97.8%,在 11 个公式中准确性最高。Reitblat 等<sup>[9]</sup>对 79 眼 K>46D 和 92 眼 K<42D 的白内障患者进行研究,发现五代计算公式 Barrett II、Hill-RBF、Olsen 公式在屈光预测结果上表现更好,其中 K>46D 时 Barrett II 公式的 MAE≤0.5D 和 ≤1.0D 的比率分别为 75.95%、96.20%,而本研究结果为 75.5%、93.9%;当 K<42D 时比率分别为 95.74%、100%,本研究结果为 94.3%、96.2%,研究结果非常接近。但其认为 SRK/T 公式在陡峭 K 会产生系统性的近视误差,这与本研究结果正好相反。但也有研究认为当 K>46D 时,SRK/T 公式会产生远视误差<sup>[10-14]</sup>,这与本研究的结果一致。Savini 等<sup>[13]</sup>报道了 41 例圆锥角膜白内障患者,平均 K 值为 48.54±4.70D,SRK/T 公式的

RPE 明显低于 Hoffer Q、Holladay 1、Haigis、Barrett II 公式,且 MAE≤0.5D 和 ≤1.0D 的比率也高于其他公式,差异均有统计学意义(*P*<0.05)。该研究认为在 K 值较高时所有公式均会产生远视屈光误差,SRK/T 公式是目前计算圆锥角膜白内障患者最准确的公式,因为公式本身易产生的近视误差恰好抵消了高 K 值下的远视误差,五代公式和其对比并没有显示出计算的准确性。Wang 等<sup>[14]</sup>对 73 例圆锥角膜患者研究发现,SRK/T、Hoffer Q、Holladay 2、Haigis、Barrett II 公式均会产生远视误差,Barrett II 公式在高 K 值的情况下准确性最高,这与本研究结果较为一致。

异常角膜 K 值导致的 RPE 可能有以下原因:(1)角膜 K 值异常代表角膜对称性发生了变化。目前测量 K 值时首先默认角膜形态对称,角膜屈光指数为 1.3375,用局部测出的 K 值代表全角膜 K 值,而当异常 K 值出现时,角膜形态不对称,前后曲率半径发生变化,此时测量出的 K 值可能本身就是错误的,无法代表角膜本身的屈光力。Savini 等<sup>[15]</sup>分别应用测量 K 值和全角膜屈光力(total corneal refractive power,TCRP)计算 118 例白内障患者的 IOL 屈光度,结果显示三代公式和 Barrett II 公式之间无明显差异,但该研究中患者 K 值为 40.58~47.63(平均 43.74±1.40)D,对异常 K 值未做进一步研究。(2)异常 K 值扰乱了眼前节正常结构关系,基于 ACD、K、IOL 位置等参数的计

算公式受到影响,降低了其预测晶状体有效位置的准确性。

综上所述,Barrett II公式作为目前五代公式的代表,在异常AL、ACD、晶状体厚度参数、准分子术后及散光晶状体的计算应用上均显示了良好的计算准确性。本研究结果也证实当 $K < 42D$ 或 $K > 46D$ ,常用公式均会产生屈光误差,但Barrett II和Kane公式的准确性依然高于其他公式,关于异常K值的精准计算仍需进一步研究。

#### 参考文献

- 1 Kane JX, van Heerden A, Atik A, et al. Intraocular lens power formula accuracy: comparison of 7 formulas. *J Cataract Refract Surg* 2016; 42(10): 1490-1500
- 2 Rong XF, He WW, Zhu Q, et al. Intraocular lens power calculation in eyes with extreme myopia: comparison of Barrett Universal II, Haigis, and Olsen formulas. *J Cataract Refract Surg* 2019; 45(6): 732-737
- 3 李娟, 朱珂珂. 前房深度对正常眼轴白内障患者屈光度计算准确性的影响. *广东医学* 2020; 41(2): 212-214
- 4 Olsen T. Calculation of intraocular lens power: a review. *Acta Ophthalmol Scand* 2007; 85(5): 472-485
- 5 Preussner PR, Olsen T, Hoffmann P, et al. Intraocular lens calculation accuracy limits in normal eyes. *J Cataract Refract Surg* 2008; 34(5): 802-808
- 6 Olsen T, Hoffmann P. C constant: new concept for ray tracing-assisted intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg* 2014; 40(5): 764-773

- 7 Norrby S. Sources of error in intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg* 2008; 34(3): 368-376
- 8 Melles RB, Holladay JT, Chang WJ. Accuracy of intraocular lens calculation formulas. *Ophthalmology* 2018; 125(2): 169-178
- 9 Reitblat O, Levy A, Kleinmann G, et al. Intraocular lens power calculation for eyes with high and low average keratometry readings: comparison between various formulas. *J Cataract Refract Surg* 2017; 43(9): 1149-1156
- 10 Watson MP, Anand S, Bhogal M, et al. Cataract surgery outcome in eyes with keratoconus. *Br J Ophthalmol* 2014; 98(3): 361-364
- 11 Kamiya K, Iijima K, Nobuyuki S, et al. Predictability of intraocular lens power calculation for cataract with keratoconus: a multicenter study. *Sci Rep* 2018; 8(1): 1312
- 12 Zhang ZH, Miao YY, Fang XL, et al. Accuracy of the haigis and SRK/T formulas in eyes longer than 29.0 mm and the influence of central corneal keratometry reading. *Curr Eye Res* 2018; 43(11): 1316-1321
- 13 Savini G, Abbate R, Hoffer KJ, et al. Intraocular lens power calculation in eyes with keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2019; 45(5): 576-581
- 14 Wang KM, Jun AS, Ladas JG, et al. Accuracy of intraocular lens formulas in eyes with keratoconus. *Am J Ophthalmol* 2020; 212: 26-33
- 15 Savini G, Negishi K, Hoffer KJ, et al. Refractive outcomes of intraocular lens power calculation using different corneal power measurements with a new optical biometer. *J Cataract Refract Surg* 2018; 44(6): 701-708